

**Секція: ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ РОЗВИТКУ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**УДК 532.528**

**Тетяна Вітенько, д.т.н., проф., Назар Городиський**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

**ОСОБЛИВОСТІ МЕХАНІЗМУ КАВІТАЦІЙНОГО ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ У КАВІТАЦІЙНИХ МОДУЛЯХ СТАТИЧНОГО ТИПУ**

**Tetyana Vitenko, Dr., Prof., Nazar Horodyskyi**

**SPECIAL ASPECTS OF CAVITATION MECHANISM WORKING SURFACE WEAR IN CAVITATION INSTALLATION STATICAL TYPE**

Важливим питанням для машинобудування поряд із ефективністю роботи, ергономікою і конструктивною досконалістю на сьогодні залишається достатня надійність і довговічність роботи обладнання. Промисловість зазнає величезних утрат унаслідок недостатньої працездатності машин, що випускаються. Безперечно, що ремонт і відновлення роботи обладнання потребує додаткового часу. Тому надзвичайно важливим є його мінімізація, тобто збереження працездатності відповідно до заданих технічних умов експлуатації впродовж заданого проміжку часу. Промисловість зазнає величезних утрат унаслідок недостатньої працездатності машин, що випускаються. Безперечно, що ремонт і відновлення роботи обладнання потребує додаткового часу. Тому надзвичайно важливим є його мінімізація, тобто збереження працездатності відповідно до заданих технічних умов експлуатації впродовж заданого проміжку часу. Ця властивість машини в інженерній галузі знань називається надійністю машини. Надійність закладається під час проектування, забезпечується під час виробництва і реалізується під час експлуатації. Найважливішими показниками надійності є безвідмовність і довговічність.

Це в значній мірі відноситься і до кавітаційних пристроїв гідродинамічного типу, які зараз активно пропонують для інтенсифікації тепломасообмінних процесів. У таких пристроях явище кавітації створюється спеціально для реалізації окремих технологічних процесів, зокрема: диспергування і емульгування важкозмішуваних речовин, розчинення, екстрагування, прискорення хімічних реакцій тощо. Таким чином, при конструкторсько-технологічному проектуванні виробів, що працюють в умовах гідродинамічного навантаження, одним з основних завдань є підвищення їх кавітаційної стійкості. Для цього розробляють оптимальні конструкції деталей, підбирають і розробляють кавітаційно-корозійностійкі матеріали, наприклад, композиційні матеріали, в тому числі і на основі нановуглецевих структур, підбирають технологічні режими з метою отримання дрібнозернистої та однорідної структури матеріалу, оптимальної шорсткості поверхні деталі. У працях багатьох авторів зазначено, що велика енергія, яка розсіюється під час руйнування кавітаційних бульбашок, може призводити до пошкодження робочих поверхонь. Масштаби такого явища, званого гідравлічною ерозією, можуть бути різними - від точкової поверхневої ерозії після багатьох років експлуатації до катастрофічного виходу з ладу великих конструкцій.

Встановлено, що головною причиною кавітаційної ерозії робочих поверхонь є сплескування поблизу них кавітаційних бульбашок. Не вдаючись у деталі їхнього зародження, відзначимо, що при своєму «сплескуванні» бульбашки надають певний енергетичний вплив на середовище, в якому вони знаходяться. При цьому кінетика процесу руйнування матеріалу описується кривою ерозії (втрати маси або об'єму з

часом), на якій аналогічно до процесу втоми, виділяють стадії утворення та розвитку ерозійних ушкоджень. Метою роботи було дослідження процесу динаміки кавітаційної бульбашки та її можливого впливу на робочу поверхню кавітаційного модуля статичного типу.

Для розрахунку розподілу тисків, та можливого вмісту парогазової фази вздовж робочої ділянки використовували прикладний програмний пакет SolidWorks і зокрема його модуль для моделювання течії рідин і газів - Flow simulation. Програмний модуль моделює рух потоку на основі рішення рівняння Нав'є-Стокса, яке є інтерпретацією законів збереження маси, імпульсу і енергії для потоку рідини (потоків рідин і газів). Рівняння доповнені виразами стану рідини, які визначають природу рідини і емпіричними залежностями щільності, в'язкості і теплопровідності рідини від температури. Нестискувані неньютонівські рідини розглядаються по залежності їх динамічної в'язкості від швидкості деформації зсуву і температури, а стискувані рідини розглядаються по зміні їхньої щільності від тиску. Ще одна частина рівнянь відповідає за геометрію потоку, граничні та початкові умови. Для виконання розрахункового аналізу за допомогою Flow Simulation було створено твердотільну модель кавітаційного модуля в SolidWorks, задано граничні умови моделювання, проведено розрахунок і проаналізовано результати. Отримано теоретичні результати щодо розподілу тисків вздовж робочої ділянки, зміни швидкості, температури та вмісту парогазової фази за однакових початкових умов ( $Q=2.4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $P_{\text{вих}}=0,11 \text{ МПа}$ ) і кута розкриття  $45^\circ$ . Використання швидкісної цифрової зйомки дало змогу приблизно оцінити розміри кавітаційних бульбашок шляхом заміру їх діаметрів  $d_0$  у фазі найбільшого розширення і визначити їх середньостатистичні значення.

Розглянемо механізм дії таких бульбашок на робочі поверхні. Як було зазначено вище в межах ділянки зниженого тиску утворюються кавітаційні порожнини (бульбашки або каверни) з ядер кавітації, які є присутні в будь якій рідині. Ці порожнини розподілені, як безпосередньо на робочих поверхнях, так і на відстані від них. При попаданні бульбашок у ділянку підвищеного тиску відбувається їхнє стиснення і як наслідок утворення мікроструминок, які механічно впливають на поверхню деталі під час сплескування. При періодичному впливі цих мікроструминок відбувається винесення маси матеріалу з утворенням ерозійних лунок на поверхні, що призводить до поступового зношення робочої поверхні обладнання. За умови розгляду окремої бульбашки, що потрапила у переріз, який характеризується певним тиском, швидкістю руху потоку, спостерігається зростання швидкості росту її границі і швидке зменшення розмірів бульбашки за умови зростання тиску навколо неї. Поле тиску, що формується під час руйнування кавітаційної бульбашки також не стаціонарне. Логічно, що зі зміною початкового радіуса бульбашки й тиску навколо неї імпульс енергії, що буде передаватись стінці також буде змінним. У роботах присвячених ультразвуковій кавітації зазначають зростання імпульсу від 0 до  $7 \cdot 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с}$  за зміни початкового радіуса від  $1 \cdot 10^{-5}$  до  $9 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ .

Отримані результати підтверджуються результатами експериментальних досліджень щодо зношування зразків виготовлених з нержавіючої харчової сталі. Інтенсивність зношування визначили ваговим методом за втратою маси через фіксовані проміжки часу. Швидкість зношування визначали за відношенням  $\Delta G/\Delta t$ , де  $\Delta G$  сумарні втрати маси зразка за час випробувань  $\Delta t$ . Дослідження зносостійкості зразків показали, що за час досліджень маса зразка зменшилась на 28%. Для всіх досліджених зразків виявлені певні закономірності: зношування має циклічний характер, який сильніше проявляється коли кавітаційний вплив найбільш жорсткий (мінімальний розмір парогазових бульбашок), причому незалежно від швидкості руху робочого середовища зношування зразків має подібний характер.